第四章 水稻有機栽培之肥培管理要領

王鐘和

行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

一、前言

有機農業是永續性農業之一種，其宗旨不外要維持與保全土壤的生態系統及確保農產物的安全性。有機水稻依據現行有機農業實施準則係屬全有機農法之栽培模式。其栽培之環境必須選擇土壤、空氣及水質無污染之農田。選擇抗病、蟲之良質水稻品種。以人工或機械除草，不使用除草劑，並且利用輪作、灌溉、敷蓋方式，控制雜草發生。不施用化學肥料，依照土壤肥力充分施用有機質肥料及天然礦石，以供應所需養分。不使用化學農藥，採行栽培手段、物理方法、生物方法及天然資材防治病蟲害發生。

有機水稻栽培必需選擇品質良好之水稻品種，及有良好的生產環境，不但空氣、灌溉水和土壤都不得有受到污染情形，再配合良好的肥培管理，才能生產受到歡迎高品質的有機米。

二、水稻之營養需求特性及其管理要領

(一)水稻的營養需求特性

瞭解不同種類作物營養需求特性以及土壤與肥料的性質，則是能否達到此境界之重要關鍵。依據前人探討不同作物營養需求之水耕試驗資料可知蔬菜作物需要較高濃度之養分供給才能生長正常，果樹次之，而水稻則最低(表一)(諶克終 1986)。

表一、 各種作物適宜之養液濃度，單位為 ppm

作物名	氮	磷 酸	鉀
禾本科	10	10	25~35
果 樹	100	10	100
蔬 菜	210	31	234

(諶克終 1986)

水稻由於品種、栽培方法以及土壤肥力不斷改進，肥料需要量不斷變化，故有關肥料需要量之試驗亦從未間斷。由田間肥料需要量試驗求得施肥效應與土壤中有效養分含量之相關資料顯示；其中以磷鉀之測定值與施肥效應之關係甚佳，為磷、鉀肥需要量推荐之依據。

水稻對三要素之反應以氮素最為敏感，氮素缺乏則發育不良，產量不高，但施用過量，或施用時期不當，易因生長過旺導致罹患病蟲害或引起倒伏而減產。水稻自播種至收穫之任何階段均可吸收氮素。前人研究指出以含有穩定低濃度氮素的養液栽培水稻，已能使水稻生長良好(表二，張淑賢及洪崑煌 1979)，但就各生育階段所吸收氮素對稻穀生產之效率而言，則以分蘖盛期及幼穗形成期為最大。分蘖盛期及幼穗形成期氮素養分充足與否，影響穗數、稔實率及千粒重，因此欲穫高產，必需在這兩個時期充分供應氮素肥料。氮肥施於稻田表面後，極易因脫氮作用而揮失，且亦有一部分流失，其損失量因土壤質地而異。因此，氮肥需分次施用，其中基肥需混入土中才能減少損失，而漏水過速之水田則不施用基肥。分蘖盛期之追肥應視分蘖狀況;穗肥應依葉色，調節施用。磷肥以一次作基肥施用為原則，鉀肥則著重追肥分施，避免過早施用而流失(作物施肥手冊 1996)。

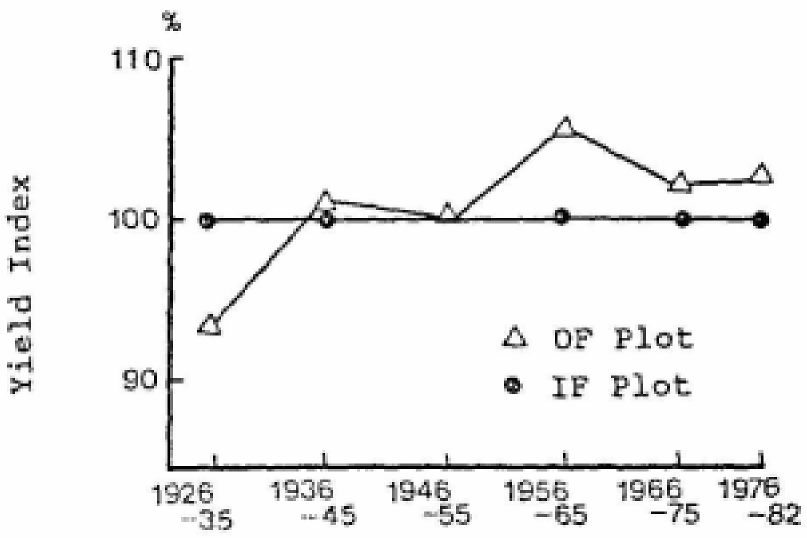
表二、 精谷產量之比較

養液 NH^{4+}-N ppm	精谷重(公克/每株)		
	一期作	二期作	平均
2	26.7[x]	16.3	21.5
4	32.3	11.6	22.0
8	30.4	16.9	23.7
16	24.5	16.7	20.6

[x]：數據為兩品種收量平均(資料整理自張淑賢及洪崑煌 1979)

(二)稻田施用有機質肥料之效應

有機肥料對旱作有其重要性，但對於稻田則尚有商榷餘地。有機質肥料中之綠肥依據以往的試驗結果，肥效與化學氮肥並無二致，故其後作應減施氮肥，以避免氮素供應過度之負效果(王鐘和等 1994)。日本之試驗資料顯示堆肥之肥效施用之初期表現雖不如化學肥料，然在長期施用情形下，其肥效有優於化學氮肥之趨勢(圖一)(Suzuki et al,1990)，我國亦有類似之試驗結果(林家棻等 1973)，但因其增產幅度不大，且有機肥料價格高於化學肥料，故除了有機水稻栽培以外，在稻田實在可以不必提倡有機肥料之使用，僅以鼓勵作物殘株還原於土壤即可。蓋在稻田狀況下，只要化學肥料使用適宜，作物生長被促進，其收割後之殘株即維持一定的有機質含量；即使多施有機質亦因分解迅速而難提高土壤有機質水準。比較 50 年代與 60 年代稻田土壤之有機質含量，可見 60 年代雖未施堆肥，但因化學肥料施用之增加及普遍，土壤中有機質含量並未見減低，且有提高之情形(表三)(林家棻等 1967，林家棻 1981)。



圖一、 有機質肥料與化學肥料連用試驗稻穀相對收量之變遷
（資料來源：Suzuki et al.1990）

表三、 台灣水田土壤有機質含量之相對比率及分級表

有機質含量		1959-1967	1978-1981
分級	%	(%)	(%)
很低	>1	14.0	6.7
低	1-2	50.6	38.1
中等	2-3	26.9	33.1
高	3-4	8.3	16.0
很高	>4	—	6.1

資料來源：林家棻等1967, 林家棻1981

(三)稻田特殊施肥管理

1.稻田矽酸肥力之改進

水稻為典型的需矽作物，土壤中雖含大量矽酸，卻為作物不易利用者。而農業試驗所亦於民國 48 年(1959)起之數年間進行全省性試驗，結果顯示矽酸爐渣之肥效在北部的砂頁岩沖積土及紅壤最為顯著，以每公頃施用 1.25~2.5 公噸，平均獲得 10%之稻穀增產，並可增加稻熱病抗性；並於 67~70 年(1978~1981)間進行大面積示範和推廣，普遍獲得良好結果。據全省 5,730 個代表性稻田土壤樣本的有效態矽含量測定結果，低於 40ppm 者占全樣本數之 45%；低於 90ppm 者則占全樣本數之 70%，可見矽是僅次於三要素在台灣稻田中易缺的要素。

2.水稻窒息病之防治

水稻窒息病係由於土壤排水不良，稻根受土壤中還原性產物毒害，呼吸受阻所致，故稱窒息病；罹病水稻鉀素含量較低而鐵含量則稍高，經多施鉀肥及改善灌排水、避免在高溫期施用有機質肥料等措施，水稻生育可獲顯著的改善。

3.缺鋅稻田之改良

鋅為臺灣稻田中唯一顯現缺乏症狀之微量元素。首例於民國 61 年(1972)在花蓮之石灰質片岩沖積土稻田發現。經過鋅肥的施用後亦解決了該地久已存在，俗稱「水瘟」而不明原因之水稻生理病，惟面積並非很大。66 年(1977)在台東長濱至成功一帶黑色土發現的水稻缺鋅則最為嚴重，施鋅有顯著效果，面積達三千多公頃。嗣經田間示範，以每公頃施用 30~50 公斤氧化鋅，較對照區第一、二期作平均增產各達 25 及 15%，農民相繼倣效，遂解決該地區過去長久存在的低產問題。

4.胡麻葉枯病易發生地區之施肥改進

東部地區部分稻田易罹胡麻葉枯病問題，亦於民國 66 年(1977)前後發現與土壤之有效性鉀、錳、矽及陽離子交換能量低有關。遂由田間試驗証實施用矽酸爐渣對於稻穀之增產有效，施用鉀和錳亦略有效果。

三、有機水稻田之肥培管理

有機米栽培，因係屬全有機栽培模式，必需全部使用有機資材來

供應水稻生育之養分，長時間大量地投入有機肥料於土壤中，是不可避免的。因此，合理而適切的施用有機質肥料，為有機水稻經營成敗之重要因素。必須注意下列事項:

(一)妥善利用稻草

稻草為稻米生產的副產品，其產量受到水稻品種、環境(氣候及土壤)與栽培管理的影響。我國稻穀年產量以 200 萬公噸計算，則我國每年就有約 200 萬公噸稻草的產出，是一種大宗的農產廢棄物，有是一種資源要妥善利用於水稻機械收穫後，將聯合收穫機排放在田面上的稻草，經過人工略加翻動，使其分佈較均勻經過幾日曝曬，質地較軟化後，才耕犁掩埋入土壤中。並且為避免分解過程中產生有機酸、重碳酸根及硫化氫等因還原作用而生成之產物及氮素固定作用等之影響，至少在插秧前二週以上，就需將稻草耕犁掩埋入土壤中，既可提供土壤有機質，其分解放出之營養元索，亦可補充土壤之養分。根據 Park(1988)長達 16 年之調查資料(表四)，在韓國將稻草就地掩埋施入稻田中，對不同品種之水稻均略有增產作用，其增產作用不高之原因為稻田之還原狀態，本來就較利於有機質的涵養，有機質不會快速分解，較易維持在適當的水準，因此只要適當的施用氮、磷、鉀三要素肥料，水稻即可生長良好，即使稻草移除，但稻田中仍留存有稻樁及稻根(約佔全株生質量之 15~20%)已可使稻田維持適當的有機質含量。

值得注意的是，施用稻草或堆肥對後作旱作均有顯著的增產效果(甚至施稻草的效果還高於堆肥呢！)，其原因當然是旱作物對高養分濃度的需求較水稻強，施用有機質材(不論是稻草或堆肥)有利於養分的提供及保肥和保水能力的提昇，當然對生長有明顯的助益。

另外也要注意的是，由於稻草具有高的碳氮比(約 60~70 之間)，掩埋入土壤中後，會從環境中固定氮、磷等養分以促進分解，雖然可配合施入氮、磷等化學肥料，但為節省資源及配合政府推廣之栽植綠肥作物的政策，可於水稻收割前將綠肥種子(如夏季綠肥田菁或冬季綠肥埃及三葉草與油菜等)撒種於稻田中。水稻收穫後，綠肥已在稻草下發芽生長了。如果水稻與後作物之休閒時間短，則與稻草同時掩埋之綠

肥田菁(約生長 30 天，高度約 30 公分)雖然生質量較不高，但卻因極幼嫩，氮素含量高，碳氮比甚低，掩埋後可快速分解，釋放無機養分，配合稻草一起掩埋，可以供應稻草分解所需的養分。

如果兩期作間之空閒時間較長，則可以使綠肥有較長的生長期間，累積大量的生質量與養分，一般而言，乾物質可達 5.5 公噸/公頃左右，而氮素量則可達 100 公斤/公頃以上，且其碳氮比也僅約 20~30 之間，施入土壤中仍能快速分解，供應稻草分解時所需的無機養分，又可提供土壤大量的有機質，改善土壤物理、化學及生物性質，提昇土壤肥力。惟要避免後作物因氮素吸收過量(由綠肥、稻草、土壤及肥料等來源供應之氮素)，產生不良的影響，應配合減少部份有機肥料用量，一定要記住「種綠肥，後作一定要減肥」的口訣。

表四、 施用有機質肥料對作物產量之影響(1962-1977)

作　物		調查地點	產量(公噸/公頃)			調查地點	產量(公噸/公頃)		
			N.P.K.	N.P.K+堆肥	指數		N.P.K.	N.P.K+稻草	指數
水田 Japonica		815	4.78	4.97	1.04	324	4.83	4.96	1.03
水田 Japonica X induca		61	6.57	6.73	1.02	64	6.79	6.84	1.01
旱田作物	大豆	61	1.53	1.93	1.26	49	1.57	1.86	1.19
	大麥	19	1.80	2.27	1.26	1	2.86	4.24	1.48
	小麥	14	1.90	2.24	1.18	3	2.10	2.66	1.27
	芝麻	4	0.61	0.66	1.09	3	0.62	0.76	1.23

(二)合宜選用有機質肥料

有機質肥料種類繁多，大致可分為難分解型與易分解型兩種:難分解型一般是以稻穀、樹皮、木屑、作物殘株等堆製腐熟而成之有機質

肥料，含豐富纖維質，但氮、磷、鉀三要素含量較少，因其在土壤中的分解較慢，適宜用在改良土壤理化性質和促進土壤微生物活性，使作物根部有良好生長環境。易分解型一般以禽畜糞、動物性廢棄物、油類等腐熟而成之有機質肥料，含纖維質較少，氮、磷、鉀三要素含量高，其所含養分在土壤中分解釋放較快。施用時應注意其釋出之要素含量，適時、適量供應作物生長所需。此外，連年施用有機質肥料後，除了當作所施有機質肥料之可礦化養分量外，亦要評估土壤累積之既有有機質之可礦化養分量，以二者之和作為預期可由有機質供給之要素量。此外，有機質肥料如未經醱酵完全，施用後易因繼續在土壤中醱酵，產生危害作物根部之物質，滋生病原菌及雜草滋生等現象，故在施用前要注意其品質。

(三)長期施用須注意事項

此外，長期過量的施用有機質肥料除了可能造成土壤中累積多量的有機質、礦化氮素量超過作物生長所需的氮素需要量，造成作物產量、品質下降及污染環境，相關長期施用有機質肥料之試驗均有土壤中磷及鉀鈣鎂要素高量累積之現象，其對土壤環境及其他養分元素之影響，值得加以關注。故長期施用有機質肥料時，應配合施含氮量高之有機資材，既可減少有機質肥料用量，且可避免上述現象產生。指出甚多研究報告共同之結果，長期施用有機質肥料有提昇土壤 pH 值至鹼性之現象，鑑於部份營養元素在鹼性之土壤環境中有效性降低，及鹼性環境易使銨態氮肥以氨氣之型態揮散，長期施用有機質肥料時，土壤 pH 之變動趨勢，實需加注意。相關試驗亦指出長期施用有機肥區表土萃取性銅與鋅量顯著高於化肥區，雖然禽畜糞堆肥施用於農田對土壤肥力有所助益，但長期施用時，其所含重金屬仍須加以注意，因重金屬在土壤中不易回收，且有機質肥料之施用量甚大，施用有機質肥料是否使農田土壤受重金屬污染之顧慮值得重視。

稻田施磷鉀肥之效應本就較低，且依據近年來水稻豐欠試驗之資料顯示稻田磷鉀肥力已較往年提高(連深 1998)，故理想的有機資材應採用礦化速率快且氮素含量高，磷鉀含量較低之菜籽粕、花生粕等豆

粕類有機質肥料，因其礦化速率快，易於適時供應及調節水稻生育所需，不但較符合經濟成本，且能避免磷鉀過度累積及充分供應氮素。但仍要注意施用時期及施用量以求氮素供應之平衡，施宗禮及謝元德(1994)年指出施用高量豆粕類有機質肥料時，因氮素供應過多，對水稻生育產生不良效果。

(四)有機水稻施肥實例

台中區農改場李健捀及陳榮五(1998)報告指出菜籽粕是中部地區水稻有機栽培使用之主要有機質肥料，其氮：磷酐:氧化鉀之比率為5.3：2.3：1.3。其推薦量每公頃為 4,000 公斤，1/2 當基肥使用，約於整地前 10 天用，可以避免插秧後，因菜籽粕醱酵產生之高溫對水稻生長產生危害，並可適時提供水稻初期生長所需之營養元素，1/4 做為追肥，供應水稻營養生長期間養分之吸收，1/4 做為穗肥使用。一般慣行之水稻栽培，穗肥於幼穗形成約 0.2 公分時施用最為適當，但有機質肥料需要時間進行礦化作用，才能釋放出營養成分，因此建議一期作約於幼穗形成前約 8~10 天，二期作約於幼穗形成前約 6~8 天施用最為適當。有機質肥料應避免於幼穗形成期後再施用，以免因穀粒充實期間，有過量的氮素供應，不利於稻米品質的提昇。

著者執行之蔬菜、水稻輪作有機栽培試驗也顯示，長期施用全施用禽畜糞堆肥，在控制氮素用量以避免磷、鉀過度累積之狀況下，有機栽培區有氮素供應較化學栽培區不足之現象，故水稻產量較低，而部份(50%)有機肥料量改施菜仔粕後，因氮素礦化烯化速度較快，故可改善缺氮及避免磷、鉀等營養鹽過度累積之問題(王鐘和等，2002)。

著者另執行國科會補助計畫之試驗結果也顯示在水稻和玉米輪作田長期(1995 至 2002)施用豬糞堆肥可使田區之有機質及有效磷、鉀、鈣、鎂等含量遠高於施用化學肥料區，致使玉米作之子實產量高於化學氮肥區，但是水稻作之谷產量施豬糞堆肥區卻是較施化學肥料區低，其原因是有機質肥料沒有辦法達到如同適當施用化學氮素肥料以調節水稻有最佳生產型態之功能(王鐘和等，2002)。

四、有機水稻田應用綠肥之策略

綠肥作物應用在有機農場經營耕作制度中，可採行下列幾種方式：

(一)輪作方式

綠肥植物與主作物輪流耕作是常見的方式，豆科綠肥與非豆科如玉米之輪作，或與水稻輪作之水旱輪作方式。另外，在冬季蔬菜生產過剩，價格大跌期間，種植冬季綠肥埃及三葉草、油菜、或苕子等，可舒緩蔬菜生產過剩，避免價格慘跌。且綠肥提供之養分可有效提供下一期作物生長所需，達到節省肥料資源，降低生產成本的目標。

(二)綠肥施用要領

土壤有機物之增減，端視施入有機物在土壤中之總量，及在土壤中分解速率之快慢而定。土壤中有機物分解速率則受有機物種類、性質及氣候土壤條件之影響甚大。若其他外界因子不變，有機物之碳：氮比（C/N ratio）是決定分解速率快慢及有機質（腐植質）生成之主要因素。一般而言，有機物之碳：氮比愈高，表示含有較多之纖維素及木質素；且表示分解緩慢，是形成土壤中有機質之主要來源。反之，碳：氮比較低之有機物，在土壤中很快被微生物分解而變成無機態養分為作物所吸收利用。因此，從增加土壤有機質及提高土壤地力之角度來看，應當選擇有機物總量多且碳：氮比高之綠肥較佳；即綠肥作物生長至成熟期才犁入土壤中為宜。綠肥的施用如前所敘，其數量、性質均會影響後作作物之生長，需依綠肥的作物種類、株齡、生產量及下期作物的種類而有不同。水田施綠肥之注意事項:水稻田如過量施入綠肥，在分櫱期因過多氮素釋出，水稻吸收氮素過量，易產生過多的無效分櫱，會有不良效果出現，因此，綠肥不應過量外，亦需提早翻犁綠肥，而達到提早腐熟綠肥，減少綠肥可能引起的缺失。尤其土壤排水不良區的水田，需避免過量的豆科綠肥。

有機水稻田栽植滿江紅亦可視為綠肥之一種，水稻生育初期滿江紅可協助抑制雜草生長，避免雜草競爭養分，惟此時期滿江紅也略與

水稻競爭養分，水稻生育中期曬田時，滿江紅大量死亡，植體經分解可釋出大量養分(尤其氮素)，應注意避免該時候水稻氮素吸收過量，對子實生產不利。